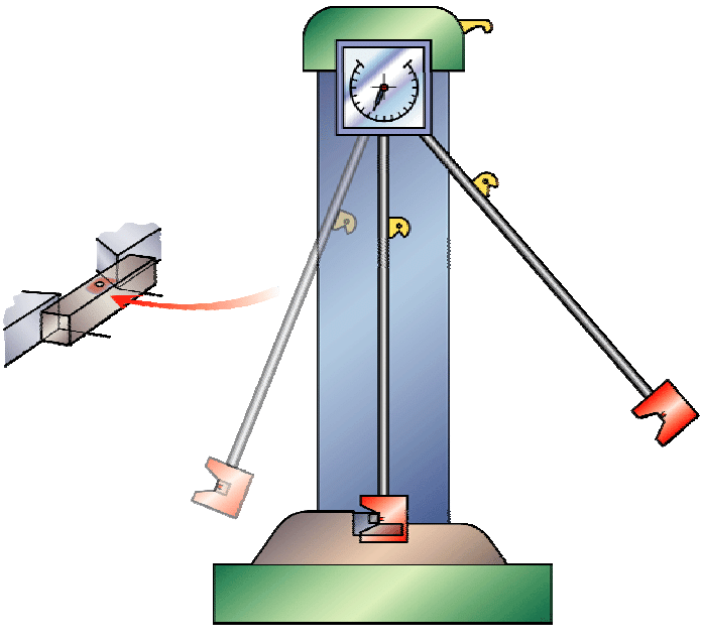
آزمایش شارپی

۱. آزمایش شارپی چیست و چرا اهمیت دارد؟

آزمایش شـارپی یکی از مهم‌ترین تسـت‌های مکانیکی برای بررسـی رفتار ضـربه‌ای و چقرمگی فولاد است. این آزمایش تعیین می‌کند که فولاد هنگام وارد شدن ضربه ناگهانی (مثل زلزله، ضربه، شکست ناگهانی یا بارهای دینامیکی) چه مقدار انرژی جذب می‌کند.



در واقع شارپی یک «هشدار زودهنگام» است؛ اگر فولاد ترد باشد و انرژی کمی جذب کند، در هنگام زلزله یا ضربه ممکن است ناگهان و بدون تغییر شکل زیاد بشکند. این دقیقاً همان رفتاری است که در سازه‌ها خطرناک تلقی می‌شود.

مطابق استانداردهای ISIRI 14262، EN 10025 و ISO 630-2، مصالح فولادی از نظر طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی به شرح زیر به سه ردهٔ JR، J0 و J2 طبقه‌بندی می‌شوند:

الف) ردهٔ JR: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی آن حداقل 27 ژول در دمای 20+ درجه سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی، شرایط پذیرش این رده آسان‌تر از شرایط پذیرش رده‌های J0 و J2 است.

ب) ردهٔ J0: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی آن حداقل 27 ژول در دمای صفر درجه سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی، شرایط پذیرش این رده آسان‌تر از شرایط پذیرش ردهٔ J2 اما سخت‌گیرانه‌تر از شرایط پذیرش ردهٔ JR است.

پ) ردهٔ J2: به رده‌ای از مصالح فولادی گفته می‌شود که طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی آن حداقل 27 ژول در دمای 20- درجه سلسیوس باشد. به لحاظ طاقت نمونهٔ شیار داده‌شدهٔ شارپی، شرایط پذیرش این رده هم از شرایط پذیرش ردهٔ JR و هم از شرایط پذیرش ردهٔ J0 سخت‌گیرانه‌تر است.

به دلیل همین اهمیت، "مبحث دهم مقررات ملی ساختمان" خواسته است که فولادهای ساختمانی بر اساس توان جذب انرژی در شرایط دمایی مختلف، رده‌بندی شوند.

۲. هدف آزمایش شارپی

هدف اصلی شارپی اندازه‌گیری "انرژی جذب‌شده قبل از شکست" است؛ یعنی اینکه آیا فولاد قبل از شکست تغییر شکل می‌دهد (نرم و چقرمه) یا اینکه ناگهان خرد می‌شود (ترد و شکننده).

به زبان ساده:

- هرچه انرژی جذب‌شده بیشتر باشد ← فولاد چقرمه‌تر و ایمن‌تر است.
- هرچه انرژی کمتر باشد ← فولاد تردتر و در زلزله خطرناک‌تر است.

۳. مفهوم چقرمگی و رفتار نرم–ترد

“چقرمگی (**Toughness**)” یعنی توانایی ماده برای تحمل ضربه و تغییر شکل قبل از شکست.

فولادی که چقرمگی بالایی دارد، هنگام وقوع نیروهای ناگهانی مثل زلزله، به‌جای شکست فوری، ابتدا تغییر شکل می‌دهد و انرژی را در خود جذب می‌کند.

اما فولاد ترد این انرژی را جذب نمی‌کند و به‌صورت ناگهانی خرد می‌شود.

رفتار نرم و ترد، تحت تأثیر عواملی مانند:

- دما
- ریزساختار فولاد
- میزان ناخالصی‌ها
- عملیات حرارتی
- شکل‌دهی و نورد

به‌طور کلی "هرچه فولاد چقرمه‌تر باشـــد، رفتار ســـازه در برابر بارهای غیرمنتظره قابل‌اطمینان‌تر و ایمن‌تر خواهد بود."

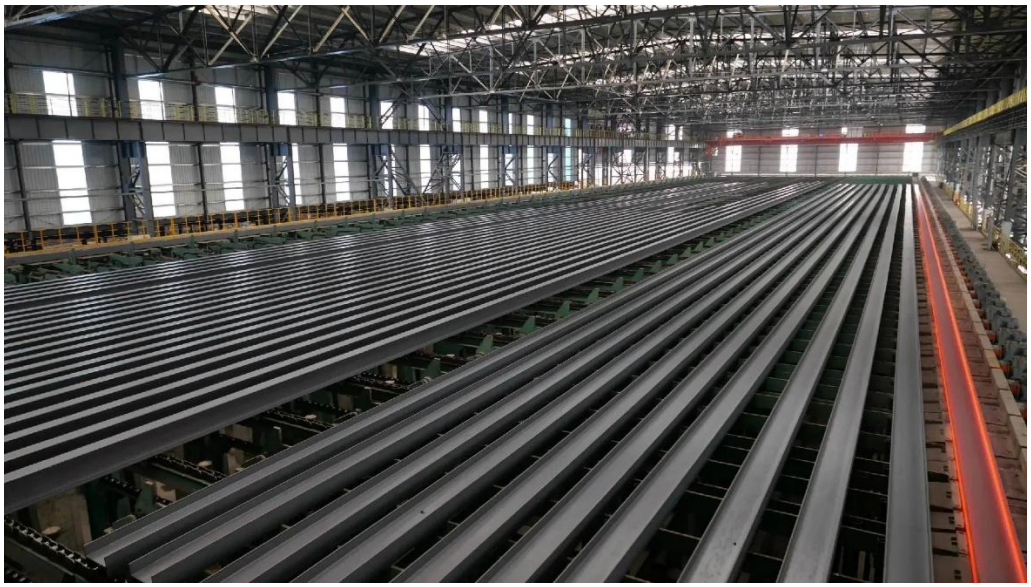
۴. تأثیر دما بر نتایج آزمایش شارپی

یکی از مهم‌ترین نکات در رفتار فولاد، تأثیر دماست. فولادها معمولاً هرچه سردتر می‌شوند:

- انرژی کمتری جذب می‌کنند
- تردتر می‌شوند
- احتمال شکست ناگهانی افزایش می‌یابد

به همین دلیل در شـــارپی معمولاً نموداری ارائه می‌شـــود که انرژی جذب‌شـــده را در دماهای مختلف نشان می‌دهد؛ این نمودار غالباً یک "نقطه گذار (**Transition Temperature**)" دارد که در آن فولاد از رفتار نرم به رفتار ترد تغییر می‌کند.

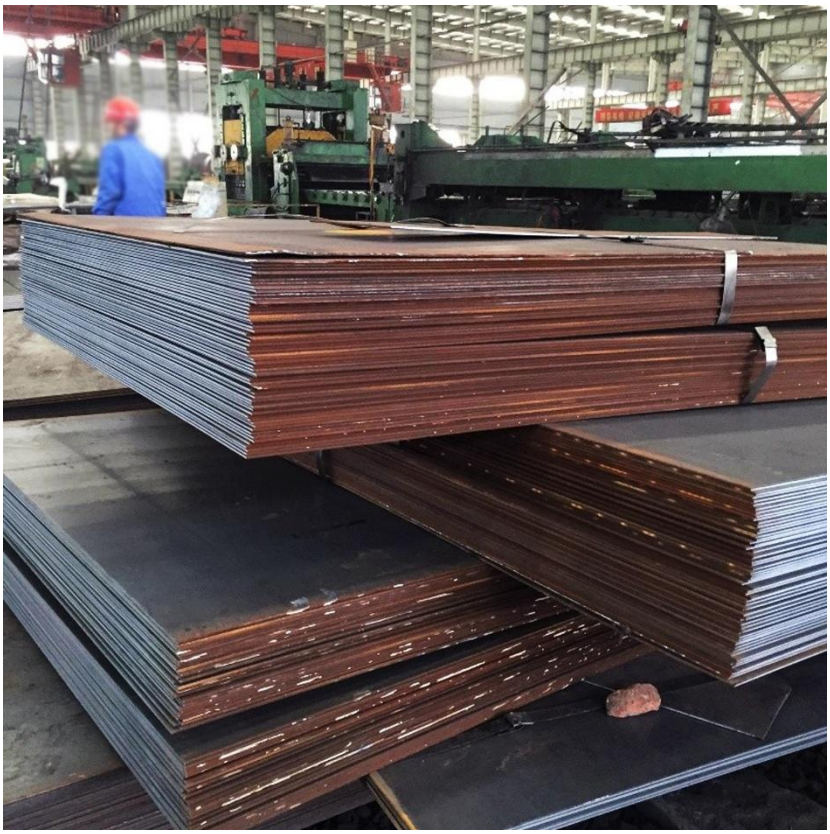
اینجاست که اهمیت انتخاب رده فولاد (**JR، J0، J2**) مشخص می‌شود.



۵. ارتباط آزمایش شارپی با رده‌های فولاد در مبحث دهم (JR، J0، J2)

مبحث دهم فولادها را براساس "میزان انرژی جذب‌شده در دماهای مختلف" به سه رده تقسیم می‌کند. شرط همه آن‌ها جذب حداقل "۲۷ ژول انرژی" است، اما در "دمای متفاوت":

- رده **JR**
- دمای آزمایش: **+20** درجه
- باید ۲۷ ژول جذب کند
- مناسب برای مناطق گرم یا معتدل
- اقتصادی‌ترین و ساده‌ترین نوع



در این دما فولاد هنوز نرم است، بنابراین این رده فقط برای شرایط معمولی ساختمان‌های شهری مناسب است.

- رده **J0**
- دمای آزمایش: **0** درجه
- باید ۲۷ ژول انرژی جذب کند
- حتی در دمای نزدیکِ یخ‌زدگی نیز چقرمگی دارد
- مناسب برای مناطق سرد یا سازه‌هایی که در معرض دمای پایین‌ترند

(مثل شمال کشور یا ارتفاعات)

این فولاد نسبت به **JR** رفتاری ایمن‌تر در سرما دارد.

- رده **J2**
- دمای آزمایش: **-20** درجه
- باید حداقل ۲۷ ژول جذب کند
- در سرمای بسیار شدید نیز ترد نمی‌شود
- مناسب برای سازه‌های حساس، پل‌ها، مخازن، سازه‌های صنعتی و مناطق خیلی سرد
- سخت‌گیرانه‌ترین و گران‌ترین رده

این فولاد برای سازه‌هایی که شکست ناگهانی در آنها غیرقابل‌قبول است، بهترین انتخاب است.

دلیل وجود رده‌بندی فولاد در مبحث دهم این است که سازه در دماهای متفاوت رفتاری ایمن داشته باشد و هنگام زلزله یا بارهای ضربه‌ای دچار شکست ترد نشود.

و "آزمایش شارپی پایه این رده‌بندی است."

۶. نمونه آزمایش و استانداردها

نمونه استاندارد شارپی معمولاً دارای یک شیار **V** شکل است. علت وجود این شیار تمرکز تنش روی یک نقطه و ایجاد یک محل کنترل‌شده شکست است.

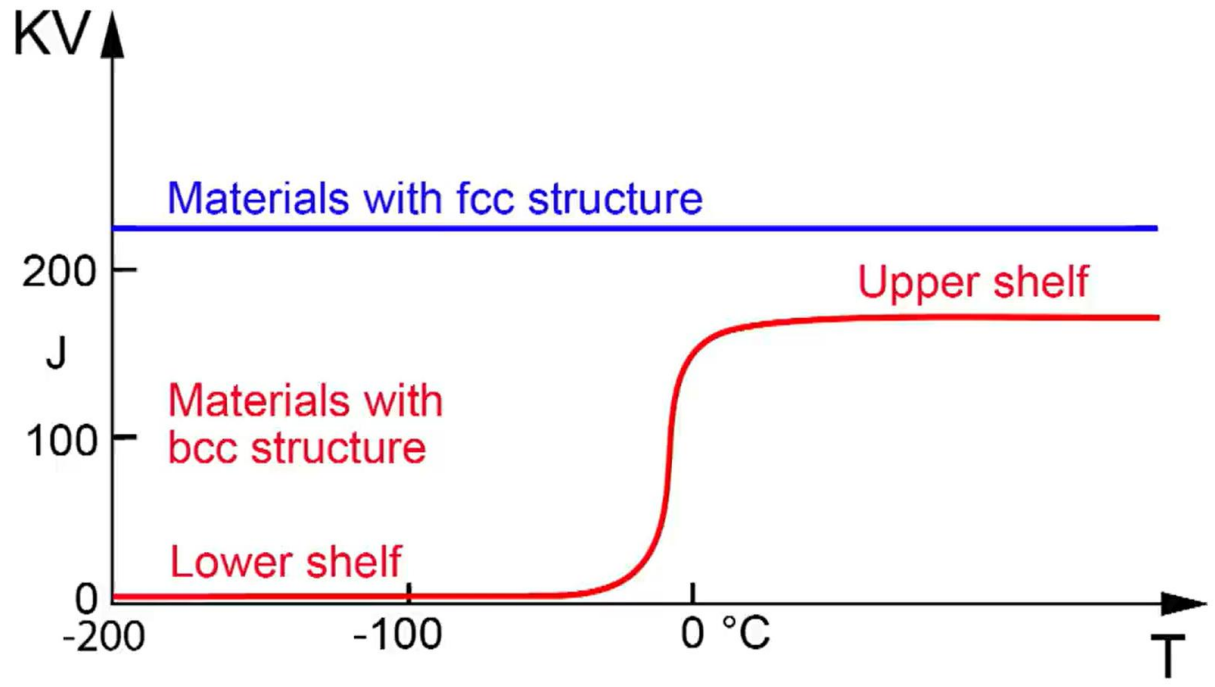
استاندارد رایج این آزمایش "**ASTM E23**" است که ابعاد نمونه، نوع شیار و روش اجرا را مشخص می‌کند.

۷. دستگاه شارپی چگونه کار می‌کند؟

دستگاه شارپی از یک پاندول سنگین تشکیل شده که از ارتفاع مشخص رها می‌شود و به نمونه ضربه می‌زند.

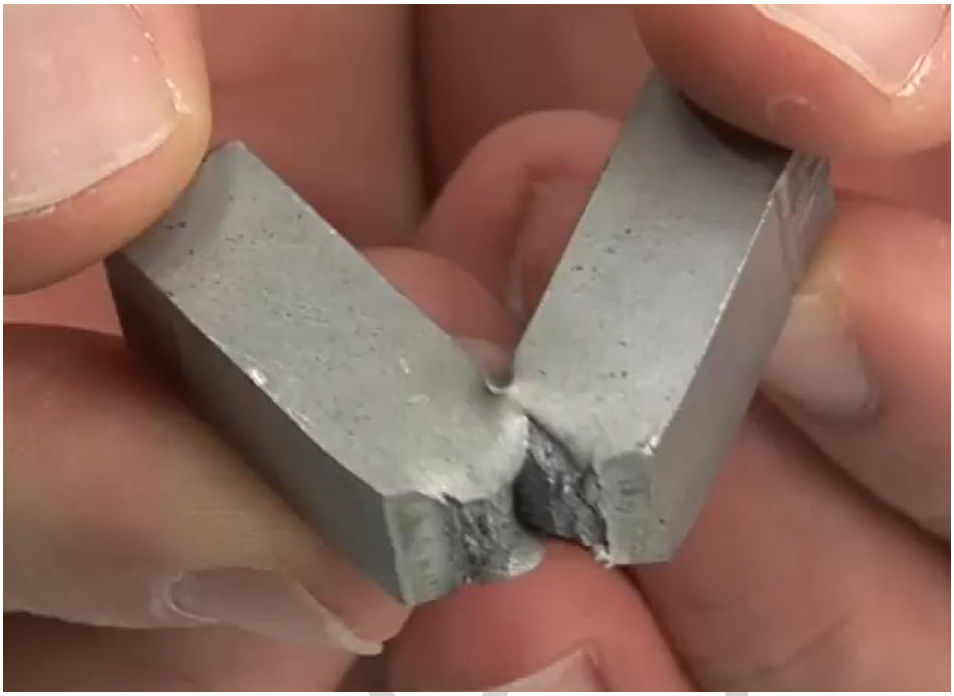
اختلاف انرژی پاندول قبل و بعد از برخورد، همان انرژی جذب‌شده توسط فولاد است.

هرچه پاندول انرژی بیشتری از دست بدهد ← فولاد چقرمه‌تر است.



۸. مراحل انجام آزمایش

1. آماده‌سازی نمونه با ابعاد استاندارد
2. ایجاد شیار دقیق در وسط نمونه
3. قرار دادن قطعه روی تکیه‌گاه دستگاه
4. رها کردن پاندول
5. ثبت انرژی جذب‌شده
6. تحلیل سطح شکست



TAVAT

۹. تحلیل نتایج

پس از شکست نمونه، دو چیز بررسی می‌شود:

۱. مقدار انرژی جذب‌شده

هرچه انرژی بیشتر ← رفتار نرم‌تر و ایمن‌تر.

2. شکل سطح شکست

- سطح زبر، فیبری، و کشیده ← چقرمه
- سطح صاف، براق و بلوری ← شکست ترد

از ترکیب این دو نتیجه، رفتار ماده و مناسب بودن آن برای کاربری مشخص می‌شود.

10. کاربرد آزمایش شارپی در سازه‌ها

آزمایش شارپی در موارد زیر حیاتی است:

- انتخاب فولاد مناسب برای مناطق سردسیر
- جلوگیری از شکست ترد در هنگام زلزله
- سازه‌های صنعتی، مخازن و پل‌ها
- سازه‌هایی با بارهای دینامیکی
- کنترل کیفیت فولاد هنگام ساخت

درواقع اگر فولاد در دمای محیط کاربری رفتار ترد داشته باشد، یک زلزله نسبتاً کوچک نیز می‌تواند باعث شکست ناگهانی شود.

11. جمع‌بندی

آزمایش شارپی یکی از مهم‌ترین تست‌ها در مهندسی سازه و متالورژی است و نقش مستقیم در "رده‌بندی فولاد در مبحث دهم" دارد. فولادهای **J2،J0 ،JR** براساس رفتارشان در دماهای مختلف دسته‌بندی می‌شوند و انتخاب درست آن‌ها تأثیر مستقیم در ایمنی سازه دارد.

به‌طور خلاصه:

- شارپی رفتار واقعی فولاد در شرایط ضربه‌ای را نشان می‌دهد.
- انتخاب رده فولاد بدون توجه به دما و شرایط محیطی می‌تواند خطرناک باشد.
- فولادهای **J0** و **J2** برای مناطق سرد یا سازه‌های حساس ضروری‌اند.

این آزمایش یکی از پایه‌های اصلی تضمین عملکرد مناسب فولاد در شرایط غیرمنتظره است.

در فول پک طراحی سازه تاوات در بخش طراحی سازه فولادی، به این آزمایش هم پرداختیم و نکات مهمی که به عنوان پایه های دانش طراحی سازه هست را موشکافانه بررسی کرده ایم.